

青森シラスの土質性状と施工性について

木村 薫 平間 邦興
若松 雍継 上野 裕治
(青森新城工事事務所)

Soil Properties and Workability of Aomori-Shirasu

Kaoru Kimura Kunioki Hirama
Yasutsugu Wakamatsu Yuji Ueno

Abstract

The shirasu is noteworthy among unusual soils distributed in Japan and consists of volcanic pumice deposits and their secondary deposits. Most of the shirasu is distributed in Southern Kyushu covering an area of about 4,700 km², but there is a fair amount of distribution around Lake Towada in Northeastern Japan also. The shirasu in this part of Japan resulted from eruptions of Mt. Hakkōda and was surmised to have different properties from the shirasu in Southern Kyushu.

The test samples of shirasu reported here were collected from the Hiraoka district of Aomori City, the material being called Aomori Shirasu in this region. As a result of the investigation it was found that this shirasu has very unusual soil properties and workability, and it was clarified that the characteristics were completely different from those of Southern Kyushu shirasu.

概 要

我が国に分布する特殊土の代表的なものにシラスがある。シラスの成因は軽石流の非溶結部、降下軽石およびこれらの二次堆積物として認識されている。このシラスの殆どは約4,700km²の面積を占めて南九州に分布するが、十和田湖周辺を中心として、東北地方にも比較的多量に分布していることが知られている。これら東北地方に分布するシラスは八甲田山の噴火に起因するもので、南九州に分布するシラスとは異なった性状を有することが推定された。

ここで検討対象としたシラスは、青森市平岡地区に分布するもので、現地では常識的にシラスとして認識されている。しかし、検討の結果、その土質性状と施工性には極めて特異な傾向が認められ、一般的なシラスの性状の範疇を離れるものであり、南九州に分布するシラスとは、その様相を全く異にすることが明らかとなった。

1. はじめに

特異な土質性状を有するために、土工事にあたっているいろいろな問題を惹起することの多い、いわゆる特殊土のうちの代表的なものにシラスがある。シラスとは、火砕流、降下軽石およびこれらの二次堆積物として定義されており、その殆どは鹿児島県を中心とする南九州に分布するが、一方、東北地方にも十和田湖周辺を中心として、比較的多量に分布していることが知られている¹⁾。

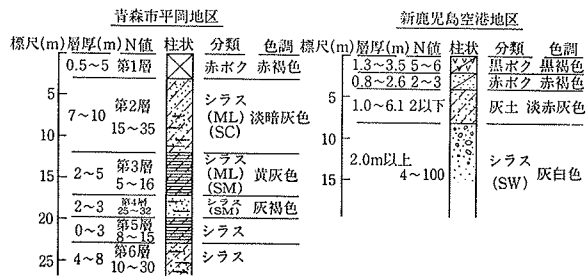
この報文で紹介するのは、青森市平岡地区に分布するシラスであり、八甲田山を起源とするもので、現地では一般にシラスとして認識されている。しかし、その土質性状と施工性には極めて特異な傾向を示し、南九州に分

布するシラスを基本と考えれば、一般的なシラスとして認識されている性状の範疇を越えるものである。そこで、まず青森シラスの土質性状についての概要を示し²⁾³⁾、次に参考のため鹿児島県に分布するシラスと対比させながらその性状を検討する⁴⁾⁵⁾。つづいて、土工機械のトラフィカビリティーなどを中心に、施工性についての概要を示す⁶⁾。

2. 土質性状について

2.1. 土層構成

青森市平岡地区の標準的な土層断面を示したのが図-1であり、参考のため併せて鹿児島県の例(新鹿児島空港)を示す。これらの土層のうち、シラスとして認識さ



図一1 標準土層断面

れているのは、前者では第2層以深であり、後者では第4層以深である。以下に青森市平岡地区の土層分布についての概要を示す。

2.1.1. 第2層 N値は15～35の広い範囲に分布し、地山では一見、砂質土状を呈してかなり密実であるが、練返しによるトラフィカビリティーの低下は著しい。上層部の土性は下層部に比べると比較的良好であるが、特に下層部には、きわめて脆弱化した火山砂や火山礫に多量の水を含んだ層（現地では“水シラス”と呼ばれている）が処々に狭在する。また下層部では湧水が激しい。

2.1.2. 第3層 粘性土層と砂質土層との複雑な互層から成る。N値は10前後を示すが、練返しによる強度低下が著しい。したがって、施工上、この土層が第2層や第4層と混合された状態で扱う場合には、その取扱いに非常な難渋をきたすことが多い。

2.1.3. 第4層 第2層の下層部と比較的類似した土層であるが、その性状はさらに悪くなる。地山のN値は20～30を示すが、前述した“水シラス層”を処々に狭在するため、その施工性状は劣悪である。

2.1.4. 第5層・第6層 第5層は第3層と、また第6層は第4層と類似した土性を示す。

2.2. 物理性状

青森市平岡地区試料（以下、青森シラスと呼ぶ）の物理的性質を一括して示したのが表一1である。参考のため、鹿児島県新鹿児島空港地区および揖宿郡喜入町地区試料（以下、鹿児島シラスと呼ぶ）の物理性状についても併記してある。

2.2.1. 粒度組成 青森シラスは細粒分含有量の内、シルト分が14～45%、粘土分が22～43%と多く、統一分類上ではSM～MLの範囲に入る。また粒径加積曲線上では細粒分が多いため、10%径が存在せず均等係数が得られない。

一方、鹿児島シラスについては青森シラスと全く様相を異にし、いずれも均等係数は16以上を示して“粒度分布が良く”、締固め性状の良好な状況が推定される。

項目	青森シラス			鹿児島シラス	
	第2層	第3層	第4層	新鹿児島空港地区	揖宿郡喜入町地区
レキ分(%)	3~12	3~4	5	8~9	8~13
砂分(%)	14~47	29~62	57	68~73	70~76
シルト分(%)	27~45	14~24	15	14~17	5~14
粘土分(%)	23~31	22~43	23	5~6	6~9
均等係数	—	—	—	16~22	16~47
コンシステンシー特性	液性限界(%)	41~91	31~42	N.P.	N.P.
	塑性限界(%)	26~71	22~39		
	塑性指数	15~26	3~10		
土粒子比重Gs	2.4~2.7	2.5~2.7	2.6	2.3~2.5	2.4~2.5
地山状態	自然含水比wn(%)	35~40 (90~130)	30~33 (90~120)	31 (90~120)	16~19
	単位体積重量γs(g/cm³)	1.3~1.7	1.4~1.9	1.4~1.7	1.3~1.5
山状	空隙比e	1.1~1.5	0.8~1.5	1.0	1.2~1.4
	飽和度Sr(%)	88~98	78~100	88	41~57
三角座標分数	砂質ローム 砂質粘土ローム	粘土質ローム	砂質粘土ローム	砂	砂
統一土質分類	ML SC	ML SM	SM	SW	SW
含有粘土鉱物	ハロイサイト モンモロナイト	ハロイサイト モンモロナイト カオリナイト	ハロイサイト モンモロナイト カオリナイト		クハロイサイト

表一1 物理的性質

2.2.2. 比重・単位体積重量 青森シラスの土粒子比重は、大略2.4～2.7の範囲にあり、鹿児島シラスは2.3～2.5の範囲にある。青森シラスの風化・粘土化の進んでいる状況が明らかである。

青森シラスの単位体積重量は1.3～1.9と比較的大きな値を示すが、これは比重の大きさと完全飽水状態にあることによると推定される。

2.2.3. コンシステンシー特性と自然含水比 当然のことながら、鹿児島シラスにはコンシステンシー限界が存在しない(NP)。青森シラスについては水シラスを除けば液性限界が30～50%、塑性限界が20～40%、塑性指数が3～20%の範囲にあるものが多い。一方、自然含水比は30～35%を示すが、水シラス部分では130%程度を示す。練返しによる泥濁化がきわめて著しい主たる原因は、混合土としてのコンシステンシー特性に対する自然含水比の過大さにある。

2.2.4. pF 水分特性 練返しによる強度劣化を示す指標の一つとしてpF水分特性がある。青森シラスについて練返しによるpF～含水比曲線の変化を示したのが図一2であり、pF特性値を関東ロームの例⁷⁾を含めて示したのが表一2である。

図一2から攪乱によってpF値に対する含水比が低含水比側へ移行し、練返しによる拘束水の遊離性状が理解できる。また青森シラスのpF特性値は40～64%と大きく、関東ロームでも劣悪な愛鷹ロームと同程度か、それ以上の値を示して強度劣化の激しい性状が理解できる。

2.2.5. 含有粘土鉱物 X線回折および電子顕微鏡分析から鹿児島シラスの含有粘土鉱物としてメタハロイサイトが、一方、青森シラスについてはハロイサイト、モ

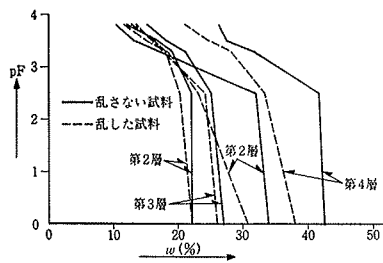


図-2 練返しによるpF—含水比曲線の変化

土 質	自然含水比 w_n (%)	分層水(*1) (%)	pF特性値 (%)(*2)
青森 シラス	第2層	22	9
	第2層	32.5	21
	第3層	27	13.5
	第4層	40.5	19.5
関東 ローム	茨城	164	79
	京川	131	53

(*1)分層水：青森市平岡地区については
 $w_n - w_{opt}$ (pF=3.8のときの含水比)
九州自動車道および関東ロームについては
 $w_n - w_{opt}$ (pF=4.1のときの含水比)

(*2)pF特性値： $\frac{w_n - w_{opt}}{w_n} \times 100$

表-2 pF 特性値

ンモリロナイトおよびカオリナイトが認められた。以上の結果から青森シラスがかなり粘土化の進んでいること、また、特に膨潤性粘土鉱物を含むことから土性の劣悪さの一端が理解できる。なお、一次鉱物としては、火山ガラス、長石、石英、およびクリストバライトなどが認められている。

2.3. 力学性状

青森シラスと鹿児島シラスの力学性状を一括して示したのが表-3である。

2.3.1. 一軸および三軸圧縮試験 青森シラスは粘性質土と解釈されることから一軸圧縮試験が可能である。地山状態では密実で、一軸圧縮強さも $q_u = 1.5 \sim 3.0 \text{ kg/cm}^2$ と比較的大きな値を示すが、ひとたび攪乱を受けると供試体整形の不可となるものも多い。鋭敏比は大略 9~測定不可、の範囲にあって鋭敏である。

三軸圧縮試験結果については、試験数量が少ないため詳細な検討は避けるが、鹿児島シラスに比べて、その性状の劣っている様子が表-3から理解できよう。

2.3.2. 締固め試験 青森シラスについては、水シラス部を除くと最大乾燥密度 $\gamma_{dmax} = 1.35 \sim 1.54 \text{ g/cm}^3$ 、最適含水比 $w_{opt} = 25 \sim 35\%$ を示す。一方、自然含水比は最適含水比を 5~7% 上廻っている。

しかし、水シラス部については自然含水比が極めて高くなり、粒子破砕も促されて $\gamma_{dmax} = 1.03 \text{ g/cm}^3$ 、 $w_{opt} = 46\%$ 程度となる。

項目	試料	青森シラス			鹿児島シラス	
		第2層	第3層	第4層	新鹿児島空港地区	指宿郡喜入町地区
締固め試験	最大乾燥密度 γ_{dmax} (g/cm^3)	1.0~1.4	1.3~1.5	1.5	1.2~1.3	1.1~1.2
	最適含水比 w_{opt} (%)	25~46	24~25	26	23~24	25~26
一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u (kg/cm^2)	1.3~1.8	2.8~3.0	1.5	—	—
	変形係数 E_s (kg/cm^2)	13~17	1~2	2	—	—
	鋭敏比 S_r	9~15 (測定不可多し)	8~13 (測定不可多し)	(測定不可)	—	—
三軸圧縮試験 (UU条件)	粘着力 C (kg/cm^2)	0~1	0~1	—	—	0
	内部摩擦角 ϕ (°)	20~28	18~25	—	—	35~40
室内CBR試験(%) (非水浸)		1以下(混合土)			23~55	55~60

表-3 力学的性質

鹿児島シラスでは、軽石層が主体となっているため、 $\gamma_{dmax} = 1.16 \sim 1.27 \text{ g/cm}^3$ 、 $w_{opt} = 23 \sim 25\%$ 程度を示す。

2.3.3. 室内 CBR 試験 青森シラスについては混合土(自然含水比)の試験結果であるが、CBR 値は 1% 以下を示して支持力およびトラフィカビリティ特性の不良な状況が明らかである。

鹿児島シラスでは 24~60% の値を示す。

3. 施工性について

3.1. 土工機械のトラフィカビリティ

土工機械の組合わせの内、湿地ブルドーザ工 (17t 級)、キャリオールスクレーパー工 (12~24 m^3 級) およびショベル・ダンプ工 (ショベル 1.8 m^3 級、ダンプ 11t 級) について、施工過程における強度変化を示したのが図-3である。

機械によって多少の違いはあるものの、いずれについてもコーン指数は $q_c = 2 \text{ kg/cm}^2$ 以下となる。特にブルドーザ工の強度低下が最も大きく、またキャリオールスクレーパー工についても泥濘化していく状況が現地で確認されている。

湿地ブルドーザ工 (17t 級) について、トラフィカビリティ試験結果の例を示したのが図-4である。走行回数 3~4 回程度で 60 cm 程度のわだち沈下量が生じ、その後、練返しの程度が激しくなって 8 回の走行回数で 80 cm 程度のわだち沈下量となる。したがって、実際の作業状況は、転圧はおろか敷均しがかるうじて可能な程度といえよう。

次に曝気による乾燥試験の例を示したのが図-5である。この結果から見ると、夏期においても、1 週間で 6~7% 程度の含水比低下しか望めず、したがって曝気乾燥によるトラフィカビリティの改善は、あまり期待で

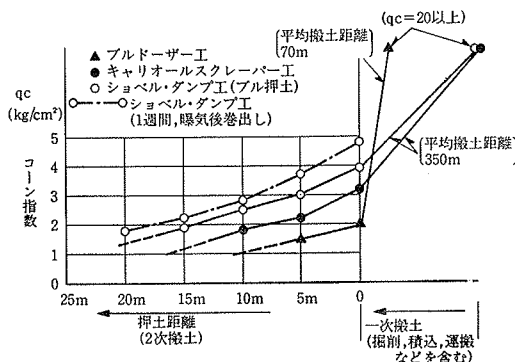


図-3 施工過程における強度低下

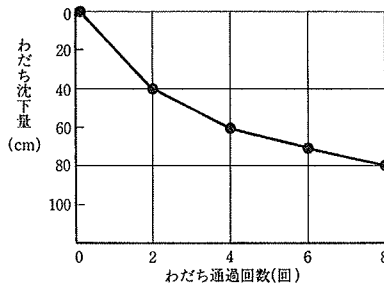


図-4 わだち沈下量の測定 (湿地ブルドーザ)

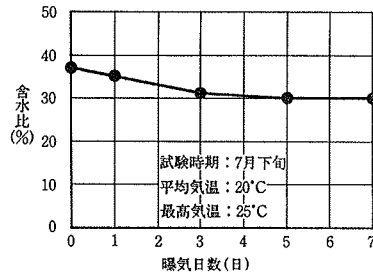


図-5 曝気試験の例

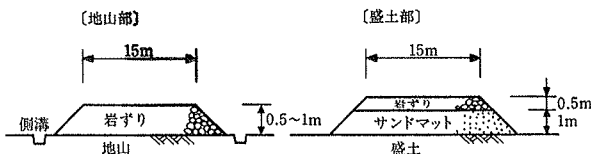


図-6 搬路の構造

きない。

ここで、実際の施工状況の一端について示せば、湿地ブルドーザ以外の他の土工機械が直接に盛土および切土上を走行することは困難であり、キャリオールスクレーパー工およびショベル・ダンプ工では、それぞれに搬路の設置を必要とする。搬路の構造を示したのが図-6である。ここで、岩ずりの最大径は約30cm程度で、かなり粗大な粒径を含む玉石混りの材料であり、サンドマット材は山砂である。また、搬路材料は約1000台の走行に対して1回の補充を行なった。

土工機械の組合せ	切土部	盛土部
ブルドーザ工 (切土部, 17t級) (盛土部, 湿地 11t級)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削土の練返しが激しく、押土距離は60~80m程度が限界である。 勾配1:2程度では、スリップが激しい。 	<ul style="list-style-type: none"> 履帯のみならず、排土板による練返しが激しい。 2次搬土距離は15m程度が限界である。
スクレープドーザ工 (16t級)	<ul style="list-style-type: none"> 勾配1:2程度の登はんは無理。 掘削面下2~3cm程度は軟弱化する。 地山が硬く、掘削能率は著しく悪い。 	<ul style="list-style-type: none"> わだち沈下が深く、方向転換によって著しく練返しを受ける。 盛土内の搬路が必要。
キャリオール・スクレーパー工 (12~24m³級) ●プッシャー用ブルドーザ (32~43t級)	<ul style="list-style-type: none"> 登はん用の搬路が必要。 掘削面下3~5cm程度は練返しにより泥ねい化する。 泥ねい土の除却に補助ブルを要する。 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土内における走行は不可能。 盛土内には搬路を設けて搬路上に排土する。 盛土内の均一な敷均しは困難となり、坂落しに近い排土状態となる。 敷均しは、数日放置しないと作業は不可能に近い。
ショベル・ダンプ工 ●パワーショベル (0.6m³級) ●ダンプトラック (11t級)	<ul style="list-style-type: none"> ダンプ踊り場には補助ブルが必要。 切土部でも搬路が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ダンプ排土か所には敷均し用ブルが集中して練返し激しい。 ダンプ搬路は幅員5m、枝搬路間隔20~40mが限度。

表-4 土工機械の組合せと施工上の留意点

以上の検討結果を含めて、いくつかの土工機械の組合せに対する切土部および盛土部の施工上の留意点を一括して示したのが表-4である。

3.2. 土工機械の稼働性

施工実績を含めて、土工機械の稼働性についてまとめて示したのが表-5である。

該当地は月平均気温が低く、盛夏でも平均20℃弱である。したがって盛土部における曝気乾燥が難しく、また

地下水位が高くて湧水が多いため切土部においても含水比の低減を図ることが難しい。さらに、これまで述べてきたように、その土性が練返しによって著しく劣化することから、一度降雨があるとトラフィカビリティーの欠除がはなはだしく、土工機械の稼働性は著しく低下する。

施工実績から言えば、実績土量は計画土量の80%にしか達成されていない。この原因は、これまで示してきたように、シラスの練返しによって盛土作業が著しく難渋したこと、および搬路材料の敷設などの仮設作業にかなりの時間をさかねばならなかったことなどによる。

3.3. 土量変化率

施工途中における大略の検測結果ではあるが、土量変化率については、次の様な結果が得られている。

- (a) 地山掘削土量 243,285 m³
- (b) 盛土締固め土量 213,105 m³
(基礎地盤沈下を含む地盤面上の締固め土量)
- (c) 盛土基礎地盤の沈下量 6,050 m³
(平均沈下量 0.11 m, 沈下面積 55,000 m²)

$$\text{土量変化率 } C = \frac{(b) - (c)}{(a)} = 0.85$$

月		4	5	6	7	8	9	10	11
工事内容 (主要重機)	ブルドーザ工・キャリオール工	ブルドーザ工	キャリオールスクレーパー工	一部メンク使用	ショベルダンプ工				
	土工量 (m³)	50,000	91,000	56,000	90,000	96,000	72,000	44,000	20,000
1日当り土工量 (m³/日)		7,140	5,350	5,600	6,923	4,000	4,000	4,000	4,000
降雨量	54年	60.5	22	200	63.5	113	133.5	189.5	
	平均(*1)	57	69	85	99	158	133	105	143
降雨および降雨後休業日数	ブル	12	14	18	19	14	17	20	22
	キャリ	23	14	20	19	14	20	21	25
稼働日数	ブル	18	17	12	12	17	13	11	8
	キャリ	7	17	10	12	17	10	10	5
稼働率 (%)	対、平均作業可能日数	ブル	100	81	57	57	81	76	53
	キャリ	39	81	48	57	81	59	59	33
対、暦日数	ブル	60	55	40	39	55	43	35	27
	キャリ	23	55	33	39	55	33	32	17

(*1) 平均降雨量: 昭和46~53年の平均値
 (*2) ブル:ブルドーザ (*3) キャリ:キャリオールスクレーパー
 (*4) 対、平均作業可能日数 = $\frac{\text{稼働日数}}{\text{平均作業可能日数}} \times 100$
 稼働率 対、暦日数 = $\frac{\text{稼働日数}}{\text{当月の暦日数}} \times 100$

表-5 土工機械の稼働率

以上のように土量変化率は、かなり小さな値を示すようである。

3.4. 植生工

植生工については切土斜面に2, 3の問題が生じたが、以下にその概要を示す。

まず、乾燥収縮が激しく、多数の亀子状クラックを生ずるため、乾燥が余り進まない内に植生工を行なうことが肝要である。

植生工にあたっての、斜面条件の概要は次の通りである。

山申式土壌硬度計	20~25 %
pH	5.5~6.8

したがって土壌の硬度はかなり大きく、しかも弱酸性である。このような場合には植生穴工法なども考えられるが、早期に全面被覆の必要から、ビニールネット+密土種子吹付け工法が採られた。斜面が急勾配の場合には、すじ溝工法を行なう必要がある。

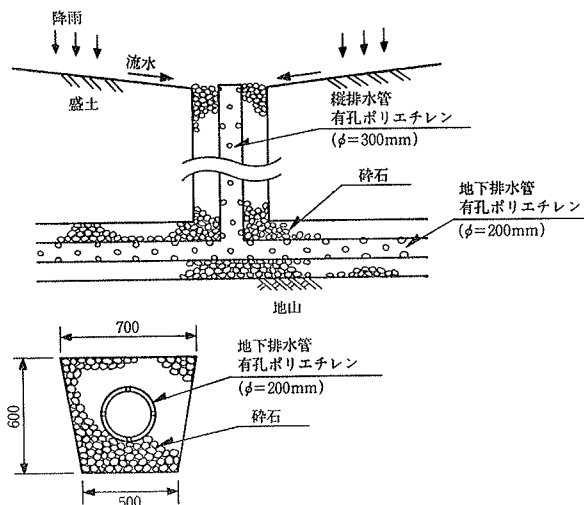
盛土斜面については種子吹付け工法でよい。

草種はケンタッキー31・フェスクを主として、レッドトップ、クリーピングレッドフェスクなどの混合種であるが、発芽はかなり良好である。植生工実施時期としては気象条件を考慮して、5月初旬~10月中旬に実施することが望ましい。

3.5. 排水工

一般にシラスなどのような土質では、降雨時に斜面は著しく浸食され、施工管理が行き届かず斜面崩壊を招く場合も稀ではない。このような場合には雨水を盛土の路肩付近に集めないで、盛土中央に縦（鉛直）の排水管を設け、これを地下排水管に導いて盛土上の雨水を排水する中央縦排水工法の使われることが多い。縦排水工の構造を図一7に示す。

しかし、青森シラスの土質性状に起因して、この排水



図一7 中央縦排水工の構造

工法には機能的に大きな問題が惹起された。すなわち軽石質であり、しかも細粒分含有量が多いため、雨水が縦排水管に集中し流下するにともなって、ヘドロ化した盛土材が多量に排水管周辺に堆積する。このため、縦排水管を盛土面より1m程度突出させるとともに、ヘドロの除去を入念に実施したが、豪雨時にはその効果も小さく、多量のヘドロが排水管に流入して、縦排水管および地下排水管のいずれにも詰りを生じ、その排水機能を停止するに至った。

したがって、青森シラスに対してはヘドロの流入防止対策はもとより、排水管径の増大、地中排水管の急勾配化などの対応を慎重に検討することが必要となる。

4. 結論

この報文では、まず青森シラスの土質性状について概要を示し、鹿児島シラスの性状と比較しながら、その特殊性について検討してきた。つづいて、土工機械の稼働性を中心に施工性状についての概要を示してきた。

その性状を要約すると以下の通りとなる。

- (1) 鹿児島シラスとはまったく様相の異なった物理・力学性状を示すものであり、鹿児島シラスの性状は、設計・施工上、参考とはならない。
- (2) 地山状態では比較的密実で良好な強度性状を有するが、練返しによる劣化は著しい。
- (3) 設計・施工上は粘性土として取扱うべきである。
- (4) トラフィカビリティーの確保が極めて難しく、施工機械の組合わせには、慎重な検討が必要である。
- (5) 切土部、盛土部のいずれにも、撤路の設置を必要とする。
- (6) その土質性状を考慮すれば、排水工の設計にあたっては、十分に余裕をもった機能を配することがのぞましい。

参考文献

- 1) 日本の特殊土, 土質工学会, ライブラリー10
- 2) 青森競輪場新築工事地質調査報告書, (株)大林組, 東北地下工業(株)
- 3) 青森市総合リクリエーションエリア建設工事地質調査報告書, (株)石本建築事務所
- 4) 新鹿児島空港盛土構造について, 鹿児島空港建設本部
- 5) 木村, 平間, 上野, 北村: シラスを埋立て材料とする造成地盤の工学的性状, 大林組技術研究所報告書, (昭和52)
- 6) 木村, 平間, 上野, 若松: 青森市競輪場造成工事における土質性状と施工性について, 大林組技術研究所報告書, (昭和54)
- 7) 喜田, 中田: 高含水比火山灰質粘性土における土中水エネルギー測定の意味, 大林組技術研究所報, No. 2, (1968)